Pêches et Océans Canada | Fisheries and Oceans Canada
Sciences des écosystèmes et des océans | Ecosystems and Oceans Science

Secrétariat canadien de consultation scientifique
Région de Terre-Neuve-et-Labrador | Avis scientifique 2016/039

ÉTAT DES CONNAISSANCES SUR L'OCÉANOGRAPHIE ET L'ÉCHANGE DES EAUX DE LA CÔTE SUD DE TERRE-NEUVE À L'APPUI DE L'ÉTABLISSEMENT DE GESTION DES AIRES D'AQUACULTURE

Figure 1. Cages à poisson pour l'aquaculture vues de la passerelle du navire de la Garde côtière canadienne (NGCC) Vladykov.

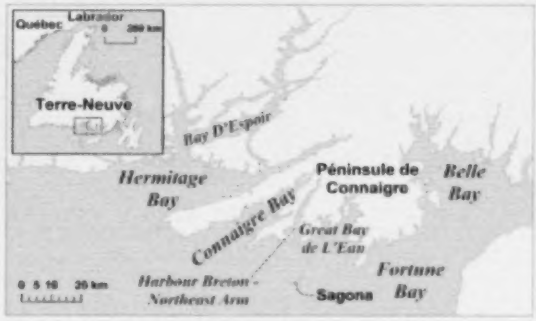

Figure 2. Carte de la région de Coast of Bays, sur la côte sud de Terre-Neuve, où des activités d'aquaculture de poissons sont menées.

Contexte :

L'expansion des activités aquacoles dans la région de Coast of Bays, une zone de la côte sud de Terre-Neuve, constitue un défi pour les ministères et les organismes responsables de la réglementation de l'industrie. Les règlements exigent une meilleure compréhension de l'environnement dans lequel les activités aquacoles sont menées. La région de Coast of Bays est un environnement hostile; elle est exposée à de violentes tempêtes, la température de l'eau y est froide et la stratification forte. Les connaissances sur les conditions océanographiques de la région sont limitées. Une caractérisation adéquate de ces conditions est nécessaire pour garantir la conception de stratégies de gestion globales visant à soutenir le développement durable de l'aquaculture à Terre-Neuve et Labrador.

Des efforts de recherche ont été entrepris par Pêches et Océans Canada (MPO) de la région de Terre-Neuve-et-Labrador afin de mener des études océanographiques côtières dans la région de Coast of Bays. Ces études, fondées sur des données scientifiques, ont pour but de favoriser l'établissement d'aires d'aquaculture de manière à assurer la gestion optimale de la santé des poissons. Les études ont consisté à recueillir des données océanographiques sur place et à élaborer un modèle de circulation des eaux côtières basé sur le modèle d'océanographie côtière en volumes finis (FVCOM) afin de mieux comprendre les caractéristiques physiques de l'océan dans cette zone et d'évaluer géographiquement les zones potentielles d'influence liées aux activités aquacoles.

Les renseignements devraient servir de base de connaissances pour les décisions réglementaires et les procédures associées au choix des sites, à la délivrance de permis d'exploitation, à la planification de la production et à la gestion durable des sites aquacoles.

Le présent avis scientifique découle de l'examen régional par des pairs du 25 au 26 mars 2015 sur l'État des connaissances sur l'océanographie et l'échange des eaux sur la côte sud de Terre-Neuve à l'appui de l'établissement de zones de gestion des baies pour l'aquaculture de poissons. Toute autre publication découlant de cette réunion sera publiée, lorsqu'elle sera disponible, sur le calendrier des avis scientifiques de Pêches et Océans Canada.

Canada

SOMMAIRE

Géographie, hydrologie, bathymétrie et océanographie de la région de Coast of Bays

- La région de Coast of Bays peut être divisée en trois régions géographiques distinctes :
  - Bay d'Espoir: un fjord long et étroit soumis à un important débit fluvial, avec une moyenne annuelle de ~252 m^3/s;
  - Belle Bay: une baie profonde et large soumise à un important débit fluvial (~71 m^3/s);
  - La Péninsule de Connaigre: une région moins profonde et plus exposée à la haute mer; elle est soumise à un léger débit fluvial (~10 m^3/s).
- Les conditions des vents de surface dans la région de Coast of Bays présentent une importante variabilité saisonnière et spatiale. Les vents de terre dominants de l'ouest-nord-ouest/nord-est sont forts (vitesse médiane de 35 à 45 km/h) en hiver et au printemps, tandis que les vents dominants du sud-ouest sont beaucoup plus faibles (vitesse médiane de 20 à 30 km/h) en été.
- Les marées sont semi-diurnes, avec de petites composantes diurnes. Le marnage dans l'ensemble de la région d'intérêt est petit (environ 2 m, grandes marées) et, par conséquent, le temps correspondant de renouvellement de l'eau des baies est long. Le temps de renouvellement est beaucoup plus petit dans la région de la péninsule de Connaigre (environ 30 jours) que dans les régions de la Bay d'Espoir et de Belle Bay (environ 60 à 70 jours).
- L'ensemble de la région de Coast of Bays se caractérise par un fort cycle saisonnier de réchauffement et de refroidissement, avec une amplitude annuelle de la température de la surface de la mer d'environ 7°C. Cette amplitude saisonnière des températures à la surface est grande par rapport aux conditions observées en Colombie-Britannique, mais comparable à certaines régions en Nouvelle-Écosse où des activités aquacoles similaires sont exercées.

Structure de la colonne d'eau et variabilité saisonnière

- Bay d'Espoir est un système de deux à trois couches d'eau du printemps à l'automne tandis que Belle Bay est un système de deux couches d'eau du printemps à l'été (et probablement jusqu'à la fin de l'automne ou au début de l'hiver). La région de la péninsule de Connaigre est un système de deux à trois couches d'eau du printemps à l'automne, variant selon l'intrusion locale des eaux profondes aux profondeurs inférieures à 150 m.
- En raison d'un débit fluvial beaucoup plus important, la stratification est plus forte et moins profonde dans la région de Bay d'Espoir que dans les régions de Belle Bay et de la péninsule de Connaigre. Néanmoins, Belle Bay connaît une importante stratification dans la tranche d'eau utilisée par l'industrie aquacole (de 0 à 20 m), tandis que la péninsule de Connaigre s'est révélée plus verticalement homogène dans cette même tranche d'eau. Les profondeurs de la pycnocline en surface ont étaient estimées à de 3 à 3,5 m dans la partie intérieure de la Bay d'Espoir, 3 à 16 m dans Belle Bay, et généralement 20 à 40 m dans la région de la péninsule de Connaigre.
- L'eau dans la couche de surface dans la région de Coast of Bays est en général riche en oxygène (c.-à-d. > 10 mg/l au printemps), bien que certaines zones, comme la partie intérieure de la Bay d'Espoir, présentent constamment des concentrations plus faibles au printemps et en automne. En profondeur, la concentration d'oxygène dissous est diminuée

considérablement dans les eaux plus profondes de la Bay d'Espoir et de la péninsule Connaigre due à l'intrusion des eaux profondes du milieu du talus (en anglais Mid Slope Water, MSW). Dans Belle Bay, une baisse importante de la concentration d'oxygène dissous a été observée dans les parties plus profondes de la baie, probablement en raison de l'isolation de ces bassins intérieurs profonds.

- Bien que des variations à court terme (de l'ordre de quelques heures à quelques semaines) de température, de salinité et d'oxygène dissous dans la colonne d'eau aient été notées, les données sont insuffisantes pour déterminer l'étendue spatiale et temporelle de ces caractéristiques. Ceci rend impossible une bonne compréhension de la dynamique associée à ces variations. Il a été avancé que la remontée des eaux profondes et les ondes internes sont de possibles mécanismes qui expliquent certaines des variations observées.

Courants marins

- La vitesse médiane du courant observée dans la région de Coast of Bays varie de 2 à 14 cm/s. La vitesse maximale du courant observée à chaque station est de 5 à 10 fois plus grande que sa vitesse médiane.
- De faibles vitesses médianes sont généralement observées dans les anses abritées, tandis que des vitesses médianes élevées sont observées dans les régions autour des seuils et dans les chenaux étroits.
- Les courants sous la surface mesurés près des sites aquacoles dans la région de Coast of Bays montrent que 50 % des stations ont des vitesses médianes de courant de 4 à 6 cm/s dans les premiers 20 m de la surface.
- La contribution des marées à la variance du niveau de la mer est de 84 %, alors que la contribution des marées à la variance des courants marins est généralement inférieure à 10 %, sauf dans la partie intérieure de Bay d'Espoir, où la contribution est généralement d'environ 25 %. Par conséquent, une partie importante de la variabilité du courant marin n'est pas attribuable aux marées.

L'élaboration d'un modèle de circulation pour la région de Coast of Bays et son application à la gestion des aires d'aquaculture

- Un modèle d'océanographie côtière en volume fini (FVCOM) a été implémenté afin d'étudier la circulation de la région de Coast of Bays. Le modèle a été exécuté en configuration barotrope tridimensionnelle (c.-à-d. avec une structure homogène de la colonne d'eau) et avec deux forces motrices : un forçage par les marées à la limite ouverte et un forçage avec vents constants et presque uniformes à la surface.
- L'analyse du résultat du modèle pour le niveau de la mer a montré que la variation des marées a été bien reproduite par le modèle, avec des erreurs de moins de 2 cm pour les composantes principales de marée.
- Les zones d'influence définies par le mouvement des particules sont variables et peuvent atteindre une distance maximale de 47 km en une journée, selon les observations dans la Bay d'Espoir.
- Les régions montrant un possible échange des eaux durant une période de 24 heures peuvent être regroupées comme suit :
    - Bay d'Espoir et Baie de l'Hermitage;
    - Belle Bay (dans son ensemble);
    - La péninsule de Connaigre (dans son ensemble).

- L'implémentation du modèle est aux premières étapes de l'étalonnage et ne représente pas encore la complexité de la dynamique de la zone d'étude.

RENSEIGNEMENTS DE BASE

En suivant la croissance des activités aquacoles à l'échelle mondiale, la production salmonicole à Terre-Neuve-et-Labrador a connu une augmentation et est passée de 4 991 t en 2005 à 22 196 t en 2013; cette croissance devrait se poursuivre. La production salmonicole est entièrement située dans la région de Coast of Bays, sur la côte sud de l'île.

Une telle croissance sera accompagnée de différents défis, y compris des enjeux liés à la santé des poissons et aux limites de la disponibilité des sites appropriés, de même que des défis d'ordre environnemental et économique. Des mesures ont été prises pour réduire au minimum les effets de ces enjeux. Par exemple, la réduction du risque et de la propagation de maladies et de parasites a été traitée au moyen de la réalisation d'activités coordonnées dans les zones désignées de production aquacole, qui sont appelées des aires de gestion d'exploitation (*Farm Management Areas*) en Écosse (CoGP Management Group 2015), des quartiers (*Barrios*) au Chili (Clément 2013), des ententes de gestion de baie unique (*Single Bay Management*) en Irlande (Jackson 2011), et des ententes de gestion des aires d'aquaculture (Bay Management Areas) au Nouveau-Brunswick et à Terre-Neuve-et-Labrador (Chang *et al.* 2007, DFA 2014). L'élaboration de ces aires de production dépend de la compréhension de nombreux facteurs, y compris la biologie des agents pathogènes et de l'hôte, et leur interaction avec l'environnement physique.

À Terre-Neuve-et-Labrador, le ministère provincial des Pêches et de l'Aquaculture, en collaboration avec l'industrie piscicole, a mis en œuvre une politique de gestion des aires d'aquaculture afin de mieux gérer la croissance et d'assurer la durabilité des activités aquacoles dans la région de Coast of Bays. Cependant, les fondements scientifiques pour définir ces aires d'aquaculture sont limités étant donné que l'océanographie de la région n'est pas bien connue.

La nécessité d'étudier et de décrire l'environnement océanique et l'échange des eaux dans la région a mené à l'élaboration d'un projet de recherche océanographique. La recherche a étudié divers aspects de l'océanographie de la région, y compris les suivants :

- Les caractéristiques physiques (dimensions par rapport à la géographie, à l'hydrologie et à l'océanographie);
- La structure et la variabilité de la colonne d'eau (spatiale et temporelle);
- La structure verticale du courant marin et sa variabilité spatiale;
- La circulation des eaux pour aider à estimer les zones d'influence liées aux activités aquacoles, ainsi que pour définir les zones qui présentent des possibilités d'échange d'eau.

Pêches et Océans Canada (MPO) est responsable de la réglementation de l'industrie de l'aquaculture dans le but de protéger le poisson et son habitat et d'assurer la durabilité de l'aquaculture. Les renseignements acquis devraient servir de base de connaissances pour les décisions réglementaires et les procédures associées au choix des sites, à la délivrance de permis d'exploitation, à la planification de la production et à la gestion durable des sites de l'industrie aquacole.

ÉVALUATION

Géographie, hydrologie, bathymétrie et océanographie

Aucun aperçu global de l'environnement physique de la région de Coast of Bays n'a été réalisé depuis les années 1980 (p. ex. MSRL 1980, Yurick et Vanstone 1983, BDE-DA 1984). De plus, peu de renseignements sur le développement de l'aquaculture dans Belle Bay et la péninsule Connaigre ont été publiés. L'objectif de cette recherche était de fournir des données de référence à jour et complètes, en plus d'une description physique de la zone d'intérêt.
Cinq baies ont été prises en compte aux fins d'analyse détaillée :

1. Bay d'Espoir;
2. Belle Bay;
3. Connaigre Bay;
4. Harbour Breton – Northeast Arm;
5. Great Bay de l'Eau.

Pour chaque baie, plusieurs paramètres liés à la géographie, à l'hydrographie, à l'océanographie et au climat dans la zone ont été évalués. Certains paramètres ont aussi été évalués pour des zones plus élargies de Hermitage Bay et de Fortune Bay.

La forme de la ligne de côte et la bathymétrie de la zone d'intérêt sont très complexes, avec des bassins profonds, des seuils peu profonds et de nombreuses baies et bras de mer latéraux. Bay d'Espoir est divisée en deux bras principaux et comprend de nombreuses ramifications de plus petite taille. Elle se caractérise par des bassins profonds (jusqu'à 790 m de profondeur) et de nombreux seuils peu profonds et abrupts (26 à 298 m). Au total, 10 bassins et 11 seuils ont été recensés dans la région de Hermitage Bay et de Bay d'Espoir (Figure 3). Belle Bay est une vaste baie profonde (jusqu'à 606 m de profondeur) qui est reliée à l'océan par l'échancrure de Fortune Bay s'apparentant à un fjord. Belle Bay comprend deux chenaux profonds séparés par un grand banc peu profond, de nombreuses baies et de nombreux bras de mer, ces derniers séparés des bras principaux par des seuils. Au total, 13 bassins et 16 seuils ont été recensés dans la région de Belle Bay (Figure 4). Entre Hermitage Bay (côté ouest) et la Fortune Bay (côté est) se trouvent deux baies ouvertes et assez vastes ainsi qu'un bras de mer étroit, à savoir Connaigre Bay a l'ouest, Great Bay de l'Eau à l'est et Harbour Breton – Northeast Arm qui se situe entre les deux. Ensemble, ces baies forment la côte sud de la Péninsule de Connaigre et, bien qu'elles soient moins profondes dans l'ensemble, la bathymétrie y est aussi complexe, avec un total de 13 bassins et de 17 seuils recensés (Figure 5).

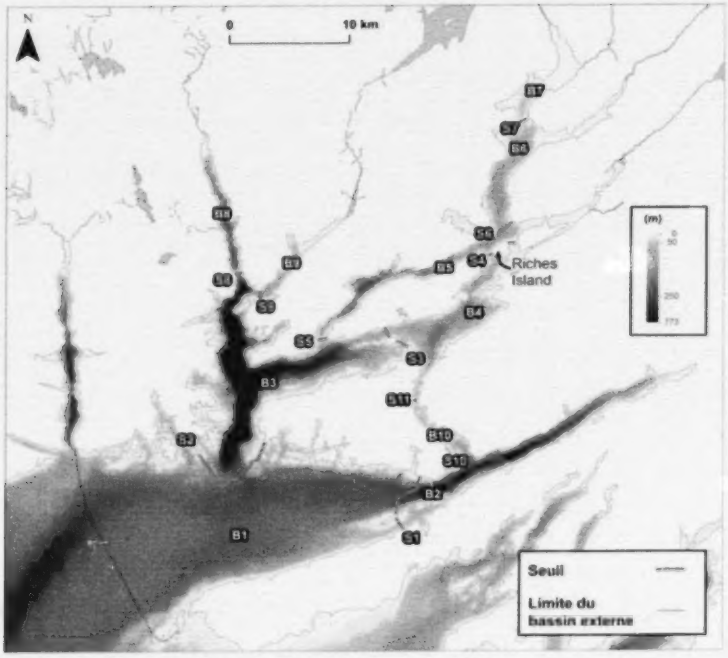

Figure 3. Bassins (B) et seuils (S) de la Bay d'Espoir.

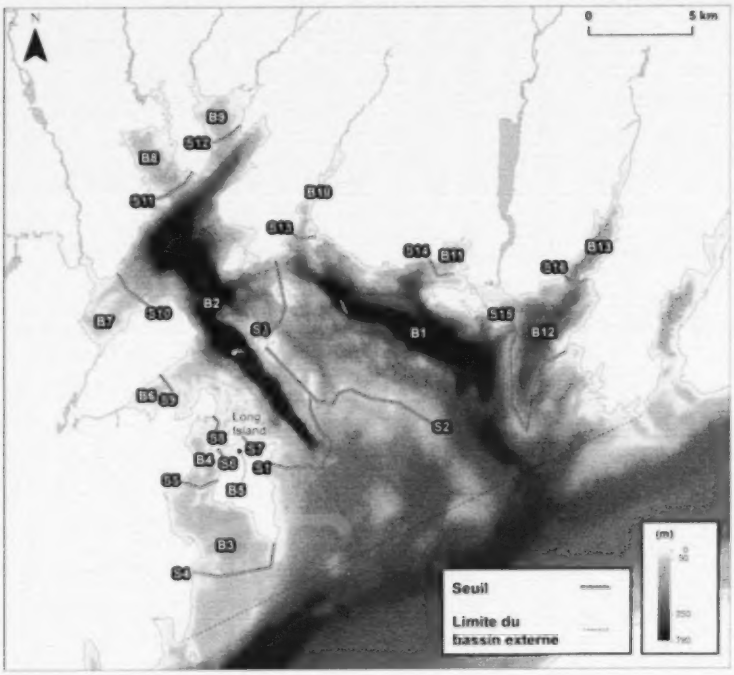

Figure 4. Bassins (B) et seuils (S) de Belle Bay.

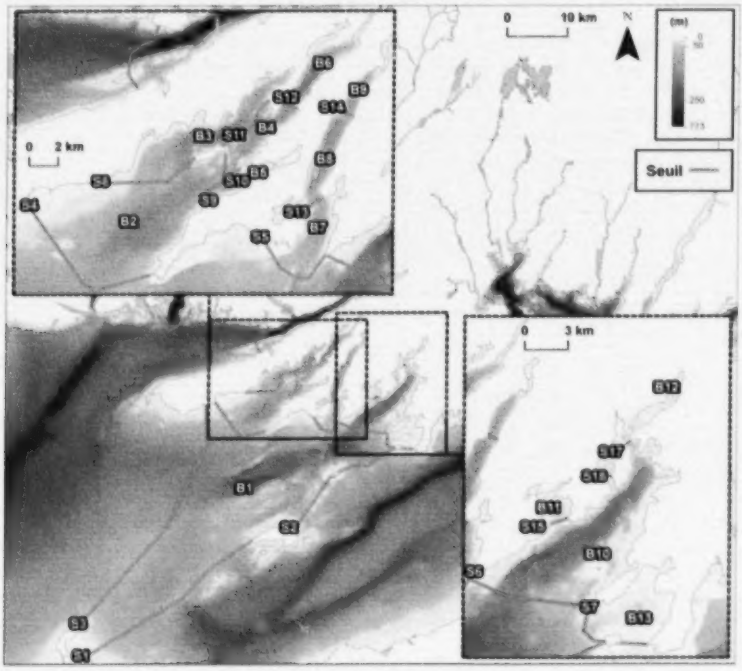

Figure 5. Bassins (B) et seuils (S) de la Péninsule de Connaigre.

Les estimations de débit fluvial ont été calculées avec les données d'Environnement Canada disponibles pour la zone d'étude et une analyse du bassin hydrographique réalisée au moyen des données topographiques et hydrographiques de Ressources naturelles Canada. La moyenne annuelle de l'apport en eau douce dans chacune des baies diffère de manière importante; elle varie d'environ 252 m^3/s dans Bay d'Espoir à environ 1,4 m^3/s dans Harbour Breton – Northeast Arm (environ 10 m^3/s pour l'ensemble de la région de la Péninsule de Connaigre). La moyenne annuelle de l'apport en eau douce dans Belle Bay a été estimée à environ 71 m^3/s, ce qui est comparable à l'apport total venant du reste de Fortune Bay, soit environ 83 m^3/s. La moyenne annuelle de l'apport d'eau douce dans Hermitage Bay en dehors de la Bay d'Espoir est faible, soit environ 21 m^3/s. Dans l'ensemble de la région de Coast of Bays, une moyenne annuelle totale d'apport en eau douce d'environ 437 m^3/s a été déterminée; cela correspond à une zone d'environ 1 055 km^2 en apport équivalent de flottabilité par réchauffement maximal en été, selon une simple relation d'échelle (Simpson et Sharple 2012; équation 2.14 p. 36). Si cet apport en eau douce était réparti uniformément dans une zone correspondant à l'effet du réchauffement maximal sur l'apport de flottabilité, cette zone serait de 1 055 km^2 (Figure 6). Cette zone est notamment plus grande que la superficie combinée des cinq baies étudiées (environ 814 km^2) et indique l'importance, voire la dominance, de l'influence de l'apport en eau douce sur les propriétés physiques de ces baies (stratification et dynamique).

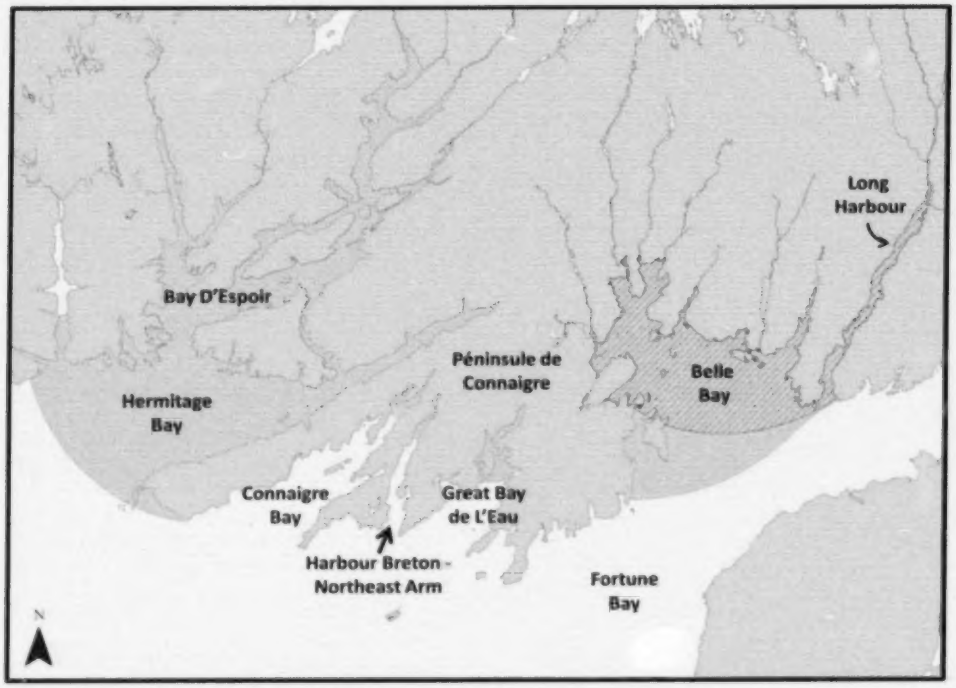

Figure 6. Superficie estimée (en bleu) de l'influence de l'eau douce (dominance) sur la stratification de l'eau dans la région de Coast of Bays, selon l'apport de flottabilité. La zone haché en rouge représente l'aire correspondant aux débits entrant directement Belle Bay et de celui provenant de l'estuaire voisin de Long Harbour; le reste provient d'autre région de Fortune Bay.

Le caractère saisonnier des conditions du vent dans la région de Coast of Bays a été évalué à partir des données provenant d'une station météorologique automatisée entretenue par Environnement Canada et située sur l'île de Sagona au large de la Péninsule de Connaigre, (figure 2). L'analyse a montré que la zone d'étude est soumise à deux régimes de vent distincts : vents forts (vitesse médiane de 35 à 45 km/h) provenant principalement du quadrant nord (du ouest-nord-ouest au nord-est) en hiver, et vents plus faibles (vitesse médiane de 20 à 30 km/h) provenant principalement du sud-ouest en été. Durant les autres saisons, la direction du vent est plus aléatoire et la vitesse du vent est transitoire; elle augmente en automne et diminue au printemps (Figure 7). Une analyse de la persistance des vents mesurés sur l'île de Sagona de 1994 à 2013 montre que la durée maximale de la vitesse du vent supérieure à 36 km/h (10 m/s) est de 157 heures. Le nombre moyen d'événements avec une vitesse du vent supérieure à 36 km/h pour une période de plus de 12 heures est d'environ 74 par an. Pour une vitesse du vent supérieure à 54 km/h (15 m/s), la durée maximale était de 103 heures (décembre 2010), et le nombre moyen d'événements pour une période de plus de 12 heures est d'environ 25 par an. En plus de cette variabilité saisonnière, le régime des vents dans la zone d'étude est aussi affecté par la topographie locale, cette dernière peut canaliser le vent et ainsi accroître sa vitesse ou agir comme barrière (Currie *et al.* 2013).

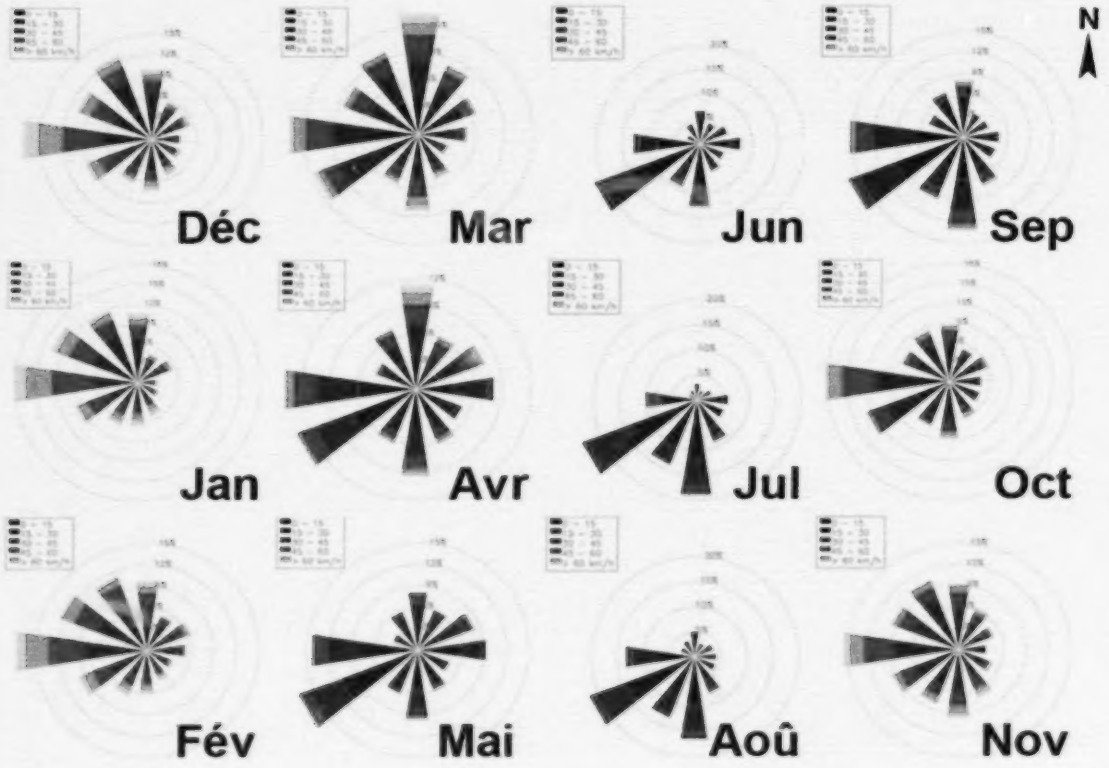

Figure 7. Régime des vents (vitesse et direction) de 1994 à 2013 dans la région de Coast of Bays d'après les relevés de la station météorologique d'Environnement Canada située sur l'île de Sagona.

Une analyse de la marée a été réalisée à partir de données de niveau de la mer du Service hydrographique du Canada provenant de cinq stations de la zone d'étude. Pour chaque station, une analyse de la marée a servi à établir des prédictions sur 19 ans à partir desquelles les marnages moyens et grands ainsi que les niveaux d'eau correspondants (niveau, pleine mer, des grandes marées et niveau des marées moyennes) ont été calculés. Le marnage dans la région de Coast of Bays est petit, avec un maximum de 2,18 m prévu pour Belloram (Belle Bay). Il augmente d'environ 12 % de l'ouest à l'est de la zone d'étude (de l'embouchure de Bay d'Espoir à Belle Bay). Il augmente aussi légèrement (environ 9 %) de l'embouchure à la tête de Bay d'Espoir, probablement en raison du rétrécissement géométrique du fjord. Les marées sont en grande partie semi-diurnes avec de faibles composantes diurnes. Le temps de vidange des baies a été estimé à l'aide de la méthode du prisme de marée et en supposant que le mélange soit complet au cours d'un cycle de marée (méthode décrite et utilisée par Gregory *et al.* 1983). En raison de la grande profondeur des baies et du faible marnage, les temps de renouvellement estimés sont assez longs, allant d'environ 66 à 67 jours pour la Bay d'Espoir et Belle Bay à environ 27 à 29 jours pour la région de la Péninsule de Connaigre (27 jours pour Harbour Breton – Northeast Arm et 29 jours pour la Baie de Connaigre). Si le mélange n'est pas parfait, ce qui est probable, le temps de vidange est plus élevé. De plus, d'autres mécanismes comme les apports en eau douce ou le vent peuvent considérablement réduire ou augmenter le temps de vidange.

Des données d'archives sur la température de l'eau provenant de différentes sources ont été compilées afin d'examiner la variabilité de la température dans la couche de surface (de 0 à 20 m de profondeur). Les données ont été regroupées en trois régions à partir de leurs caractéristiques géographiques :

1. Hermitage Bay / Bay d'Espoir
2. Fortune Bay / Belle Bay
3. Région de la péninsule de Connaigre (qui comprend Connaigre Bay, Harbour Breton – Northeast Arm et Great Bay de l'Eau).

Les statistiques mensuelles (températures moyennes mensuelles, écart-type, et minima et maxima quotidiens) de même que les cycles annuels ont été calculées, ces derniers à l'aide d'une procédure d'analyse harmonique par la méthode de minimisation des moindres carrés (tel que décrit par Akenhead 1987, et Craig et Colbourne 2004). Dans l'ensemble, les moyennes des températures mensuelles varient de 0,5-1 °C environ en février-mars à 12,5-13,5 °C environ en août, avec un écart-type de l'ordre de 0,5-1 °C et de 2-3 °C, respectivement (Figures 8-10). De plus, les résultats indiquent que l'amplitude thermique dans la couche supérieure (de 0 à 20 mètres) est élevée pendant les périodes les plus chaudes, ce qui laisse supposer que la thermocline est relativement peu profonde ou que la variabilité à court terme est grande (p. ex. remontée d'eau profonde/plongée d'eau superficielle). Ce phénomène est plus important dans la région Hermitage Bay - Bay d'Espoir, moins évident dans la région Fortune Bay - Belle Bay, et encore plus réduit dans la région de la péninsule de Connaigre. L'amplitude thermique observée à la surface (de 0 à 5 m) était d'environ 7 °C dans la zone d'étude, soit un chiffre élevé par rapport à celle observée en Colombie-Britannique (3 à 4 °C), mais comparable à certaines régions en Nouvelle-Écosse où des activités d'aquaculture similaires sont exercées (Brewer-Dalton *et al.* 2014). En utilisant les résultats de l'analyse harmonique, les taux de mélange vertical ont été estimés. Le plus bas ($0,5 \times 10^{-4}$ m^2/s^{-1}) est observé dans la région Hermitage Bay - Bay d'Espoir, et le plus haut ($1,3 \times 10^{-4}$ m^2/s^{-1}) dans la région de la péninsule de Connaigre, ce qui conforte l'idée que la stratification de la couche de surface est plus forte dans la région Hermitage Bay - Bay d'Espoir.

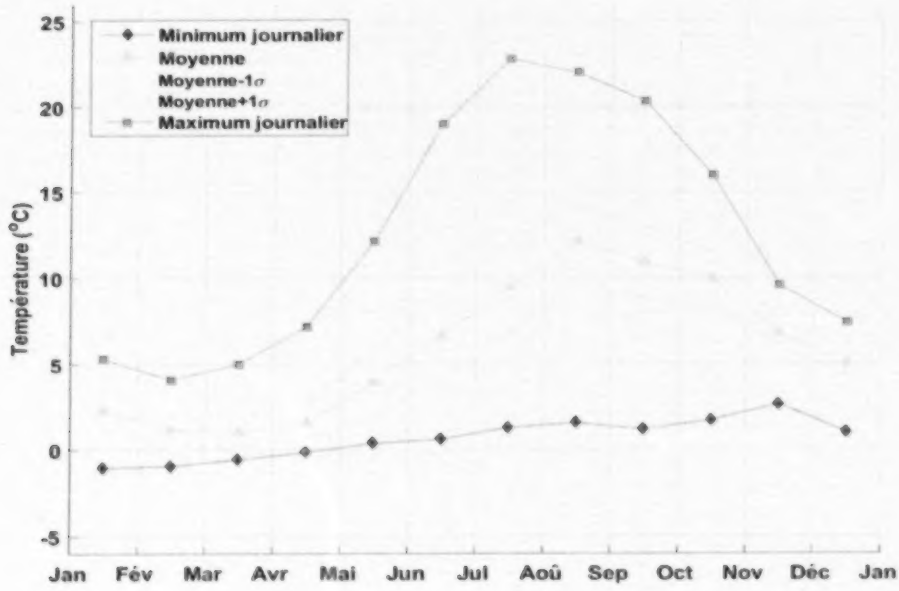

Figure 8. Températures mensuelles de de la couche d'eau de 0 à 20 m de profondeur dans Hermitage Bay - Bay d'Espoir. σ = écart-type

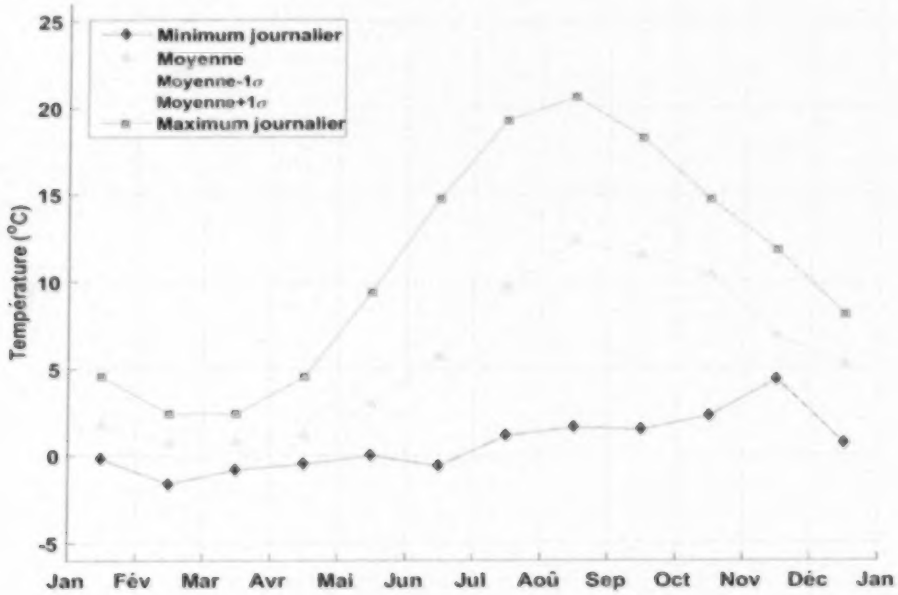

Figure 9. Températures mensuelles de 0 à 20 m de profondeur dans Fortune Bay - Belle Bay. σ = écart-type

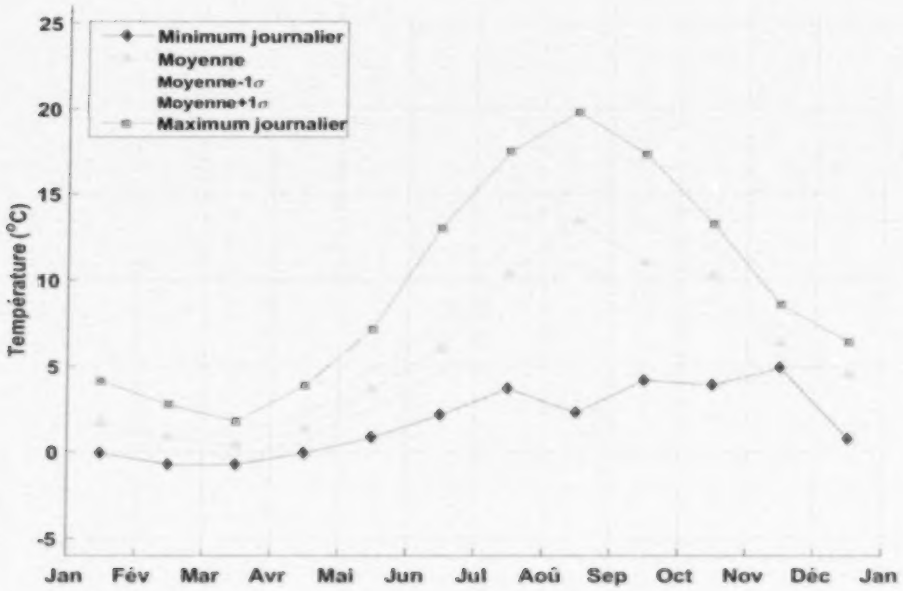

Figure 10. Températures mensuelles de la couche d'eau de 0 à 20 m de profondeur dans la région de la péninsule de Connaigre. σ = écart-type

Structure de la colonne d'eau et variabilité saisonnière

Dans le cadre d'un programme de surveillance océanographique mené entre 2009 et 2013, des profils de conductivité, de température et de profondeur ont été recueillis au sein de la zone d'étude, soit au total 760 profils sur 276 stations (Figure 11).

Les objectifs de ces travaux étaient les suivants :

- Fournir une description à jour et plus exhaustive de la structure hydrographique verticale et horizontale en mettant en lumière la variabilité spatiale et temporelle.
- Repérer les zones de mélange et d'échange des eaux et mieux les comprendre.
- Fournir des données et des renseignements dans le but d'initialiser et de vérifier le modèle numérique de circulation des eaux côtières en cours de mise en œuvre.

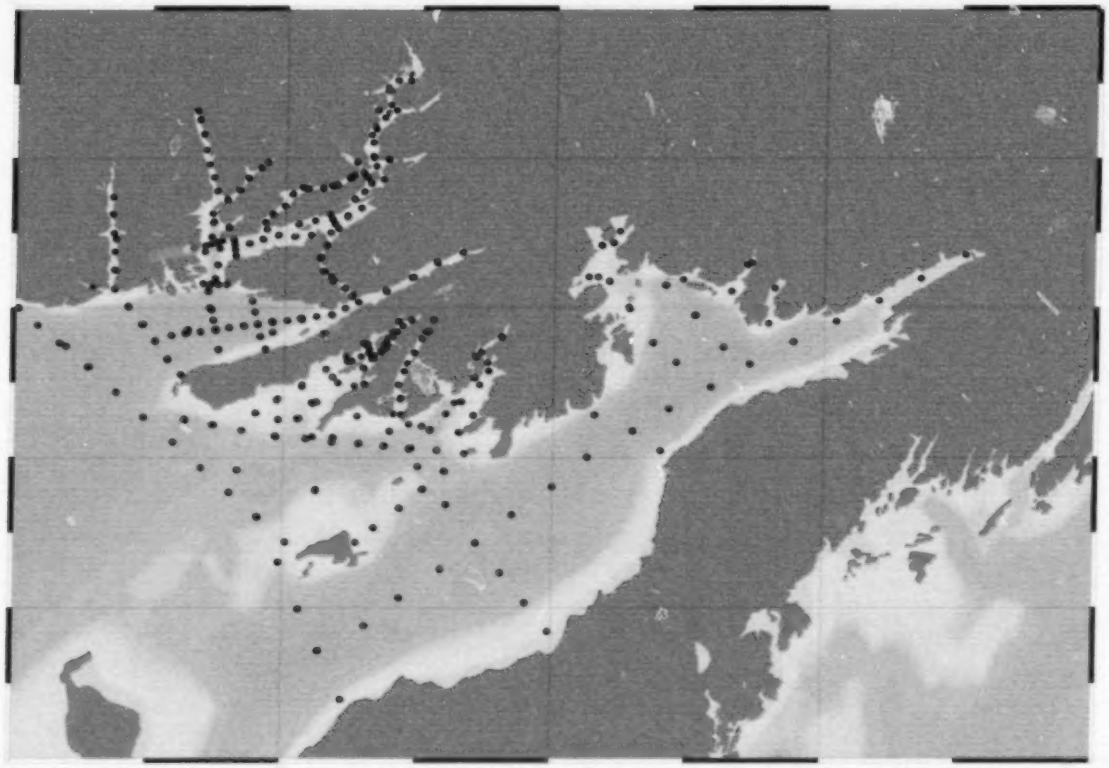

Figure 11. Emplacements des stations de relevé du programme de collecte de données sur la conductivité, la température et la profondeur de 2009 à 2013. La couleur de fond en bleu représente la bathymétrie et les points noirs les stations de collecte de données de conductivité, température et profondeur (les figures 3 à 5 donnent plus de détails sur la bathymétrie).

Les relevés ont permis de constater d'importantes variations dans le temps et dans l'espace de la structure de l'eau. Dans Bay d'Espoir, un grand flux d'eau douce venant de la partie intérieure du fjord donne lieu à une pycnocline nette et peu profonde pendant la majeure partie de l'année. En profondeur, le fjord est affecté par l'intrusion d'une couche intermédiaire d'eau froide (CIF, définie ici par l'isotherme de 2 °C) et d'une couche d'eau profonde tiède et saline (eaux du milieu du talus, en anglais Mid Slope Water, MSW) depuis le chenal de l'Hermitage, ce dernier ne s'écoulant que partiellement dans le fjord en raison d'une obstruction par des seuils intérieurs. Par conséquent, du printemps à l'automne, la structure verticale de Bay d'Espoir est essentiellement à deux couches (vers l'intérieur) et à trois couches (vers l'extérieur), ce qui est conforme à la description donnée précédemment par Richard et Hay (1984). La Figure 12 présente un exemple de structure verticale dans Bay d'Espoir. La profondeur de l'halocline superficielle (et, par conséquent, la pycnocline) dans la partie intérieure du fjord se trouvait invariablement de 3 m à 3,5 m environ, conformément aux données des études précédentes (p. ex. MSRL 1980). Dans Hermitage Bay, la pycnocline pouvait être aussi peu profonde que 6 m et aller jusqu'à une profondeur de 22 m, variant selon la saison et l'année des relevés.

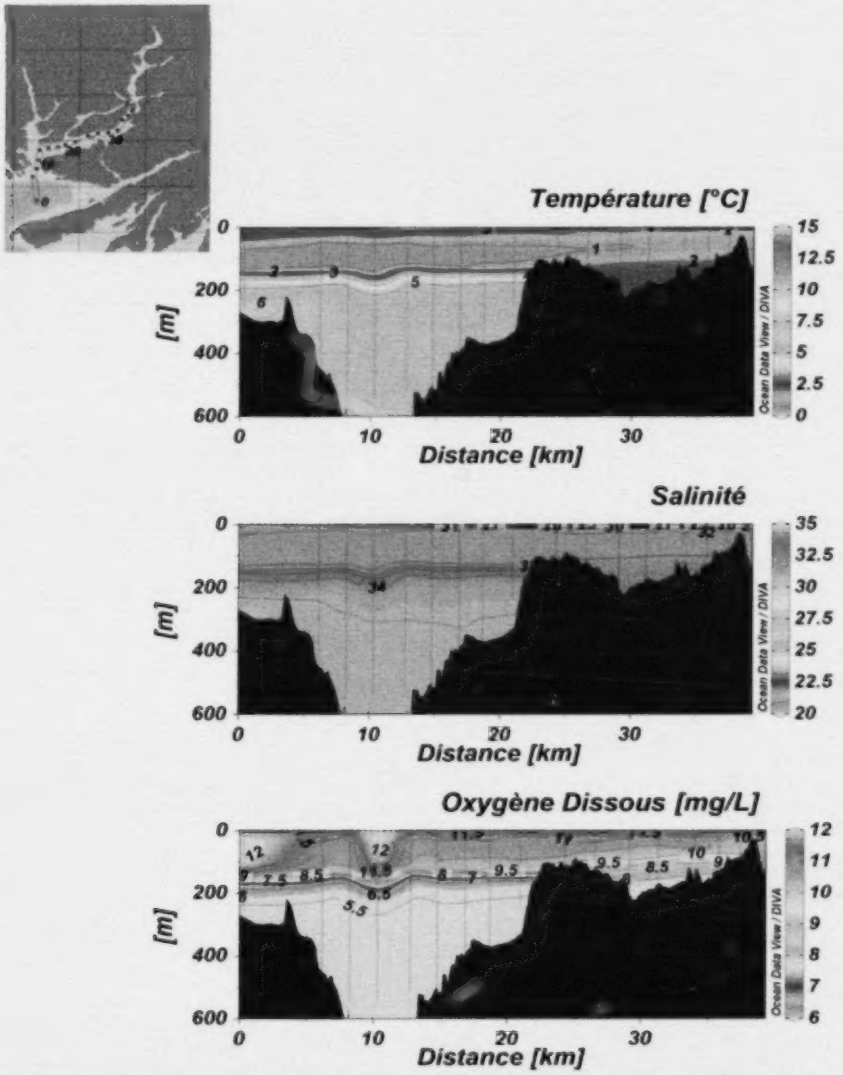

Figure 12. Structure verticale de la colonne d'eau dans la Bay d'Espoir, printemps 2010 (la carte du haut montre la zone de relevé)

Dans Fortune Bay, où l'apport d'eau douce est important, sans toutefois atteindre celui de Bay d'Espoir, une forte pycnocline saisonnière se forme en surface du printemps à l'été, en particulier dans Belle Bay qui reçoit la majorité de l'apport. Délimitée au large par une série de seuils et d'îles, Fortune Bay reçoit un flux limité d'eaux MSW par le Chenal de l'Hermitage (qui finit sa course dans Hermitage Bay) et se caractérise par son renouvellement saisonnier en profondeur entraîné par la modification des eaux du courant du Labrador l'été et celle des eaux MSW en hiver, comme l'ont décrit Hay et De Young (1989). Par conséquent, du printemps à l'été (voire jusqu'à la fin de l'automne ou au début de l'hiver), quand la couche saisonnière de surface est présente, la région de Fortune Bay et de Belle Bay est en règle générale caractérisée par une structure à deux couches d'eau. La Figure 13 présente un exemple de structure verticale dans Belle Bay. La pycnocline a été observée entre les profondeurs de 6 m à

16 m et de 3 m à 7 m, variant selon l'emplacement (moins profond au fond de la baie) et la saison (plus grande profondeur au printemps qu'au début de l'été).

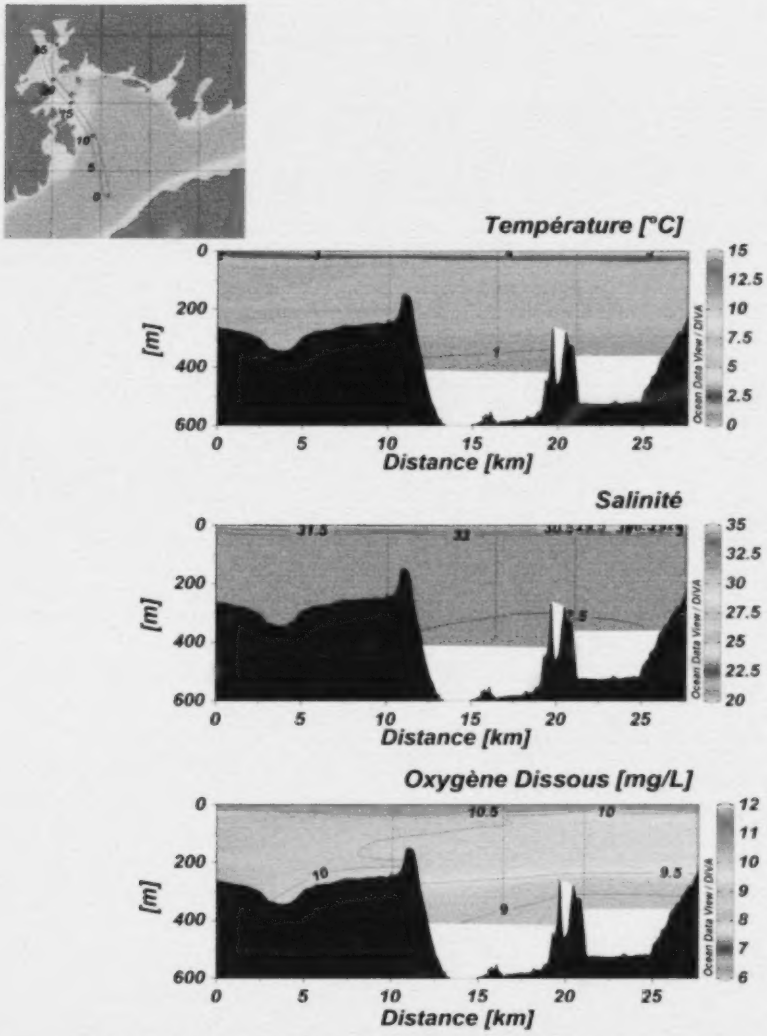

Figure 13. Structure verticale de la colonne d'eau dans Belle Bay, printemps 2011 (la carte du haut montre la zone de relevé)

Contrairement aux deux autres régions, l'apport d'eau douce dans la région de la péninsule de Connaigre est limité. Par conséquent, dans cette région, l'eau de surface est plus océanique et le mélange vertical y est plus important. En profondeur, la couche intermédiaire d'eau froide est étendue et se trouve presque jusqu'au fond. Les eaux MSW sont malgré cela bien présentes dans le bassin profond de Great Bay de l'Eau et juste à l'extérieur de la baie. Le mélange d'eaux MSW a aussi été systématiquement observé dans les bassins intérieurs de Connaigre Bay et de Harbour Breton – Northeast Arm au printemps, avant de disparaître à l'automne. La région de la péninsule de Connaigre est un système à deux couches d'eau du printemps à l'automne, avec par endroits une structure à trois couches d'eau. La Figure 14 présente un exemple de structure verticale dans la région de la péninsule de Connaigre. La pycnocline a été

généralement observée à une profondeur de 20 m à 40 m environ dans la région de la péninsule de Connaigre. Toutefois, il est arrivé qu'on l'observe plus proche de la surface comme dans Harbour Breton – Northeast Arm en juillet 2010 (environ 3 m) ou dans la partie intérieure de la Baie de Connaigre en juillet 2012 (environ 6 m).

Des concentrations et des pourcentages de saturation en oxygène dissous (OD) plus faibles ont été mesurés de façon constante dans la partie intérieure de Bay d'Espoir. Comme l'ont suggéré Richard et Hay (1984), la faiblesse de certaines valeurs au printemps (p. ex. juin 2009 et mai 2010) pourrait découler de l'isolement par les glaces en hiver, mais les conditions observées en fin d'été (septembre 2009 et septembre 2012) sont plus difficiles à expliquer. Des conditions hypoxiques (OD < 6 mg/l) dans les eaux de surface (de 0 m à 20 m) comme celles signalées par Burt *et al.* (2012) dans les cages à poisson n'ont pas été observées dans les zones de relevé de Belle Bay. Ces deux observations contradictoires indiquent que les conditions de faible débit (faible taux de renouvèlement) seraient responsables de l'hypoxie observée dans les cages à poisson plutôt que la faible concentration d'OD dans la région. Globalement, des valeurs élevées de concentration d'OD (> 10 mg/l au printemps, > 8-9 mg/l en automne) et de saturation (>= 100 % au printemps, > 80-90 % en automne) ont été observées dans les couches de surface et la couche inférieure (couche intermédiaire d 'eau froide, ou CIF) dans l'ensemble de la zone d'étude. En profondeur, les concentrations d'OD les plus faibles ont été enregistrées dans les bassins profonds de Bay d'Espoir, de Belle Bay et de la région de la péninsule de Connaigre, ce qui indique une intrusion d'eaux MSW, pauvres en oxygène (pour Bay d'Espoir et les échancrures de la péninsule de Connaigre) ou un faible renouvellement de l'eau profonde (pour Belle Bay).

Des caractéristiques de remontée d'eau profonde ont été observées dans les trois régions au cours des relevés réalisés de 2009 à 2013. Toutes les remontées d'eau profonde semblent indiquer la présence d'un vent du nord-ouest déplaçant la couche de surface vers le sud-ouest par effet de transport d'Ekman, comme l'ont décrit Hay et De Young (1989) pour les systèmes à deux couches d'eau en hiver. Nos données portent à croire qu'un mécanisme semblable se produit au printemps et en été dans les systèmes à deux ou à trois couches d'eau. De gros volumes d'eau sursaturée en OD ont été observés dans Hermitage Bay et dans le profond bassin extérieur de Bay d'Espoir, associés à un vaste déplacement vertical de la profondeur de la pycnocline. Bien que le déplacement vertical de la pycnocline soit probablement causé par des oscillations internes et que la sursaturation soit attribuée à la production d'oxygène pendant la prolifération du phytoplancton, l'origine de l'hypothétique courte « flambée » de production primaire n'est pas claire, car aucun grand mélange vertical associé au déplacement n'a été observé. En outre, étant donné que les profils de conductivité, de température et de profondeur donnant ces caractéristiques ont été observés à un à deux jours d'intervalle, le rôle lagrangien (advection des caractéristiques spatiales) et eulérien (variabilité temporelle locale) n'a pas pu être établi. Dans Fortune Bay, d'importantes variations de la température et de la salinité ont été observées le long de l'axe de la baie en mai 2011. Là encore, la limitation de l'échantillonnage n'a pas permis de faire la distinction entre les aspects temporels et spatiaux du phénomène. La remontée d'eau profonde, de seiche interne ou d'ondes piégées le long de la côte sont des mécanismes qui pourraient être à l'origine de cette caractéristique.

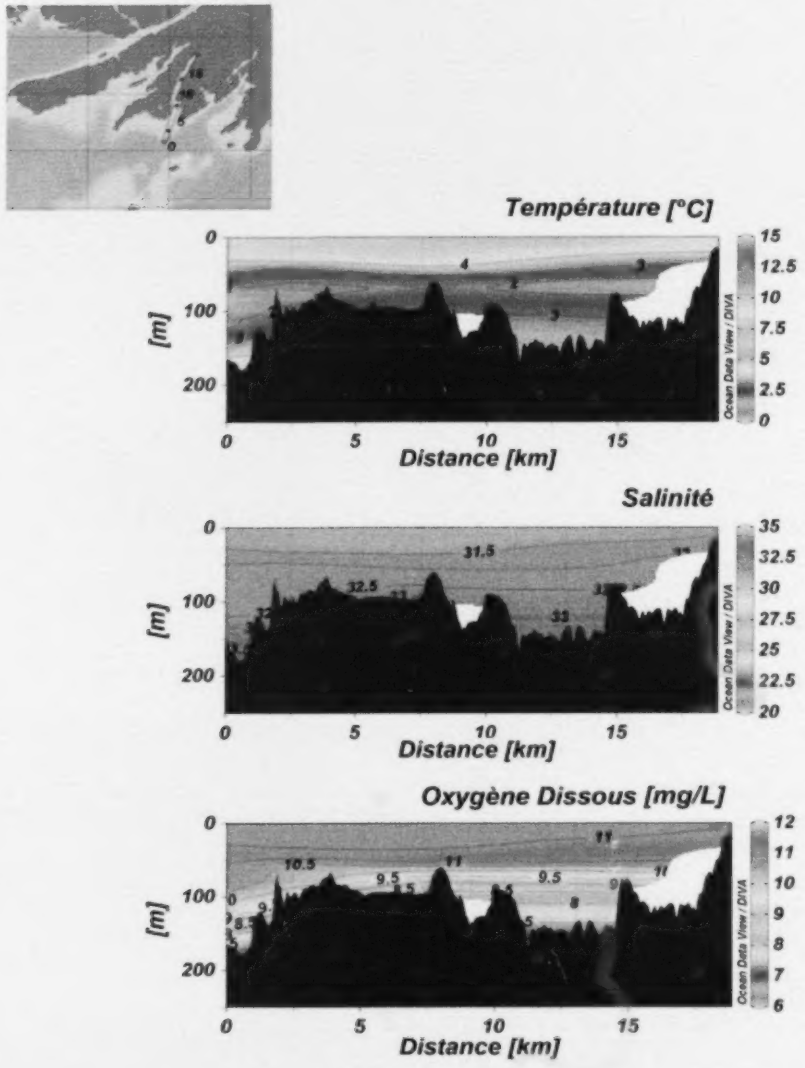

Figure 14. Structure verticale de la colonne d'eau dans la région de la péninsule de Connaigre, printemps 2012.

Courants marins

Des profileurs acoustiques de courant à effet Doppler orienté vers la surface et montés au fond ont servi entre 2009 et 2013 à mesurer les courants océaniques dans la région de Coast of Bays. L'analyse des courants a été effectuée dans deux couches de la colonne d'eau : la couche de surface allant de 0 à 20 mètres de profondeur et la couche sous-jacente. L'analyse a montré que la vitesse médiane du courant se situe entre 2 cm/s et 14 cm/s. Les courants dans la couche de surface étaient généralement plus rapides que les courants plus en profondeur (Figure 15). Les courants présentent une variabilité aussi bien dans le temps que dans l'espace. La vitesse maximale du courant mesurée dans la zone s'élève à 90 cm/s. En général, la vitesse maximale observée à chaque station était de 5 à 10 fois supérieure à la vitesse médiane.

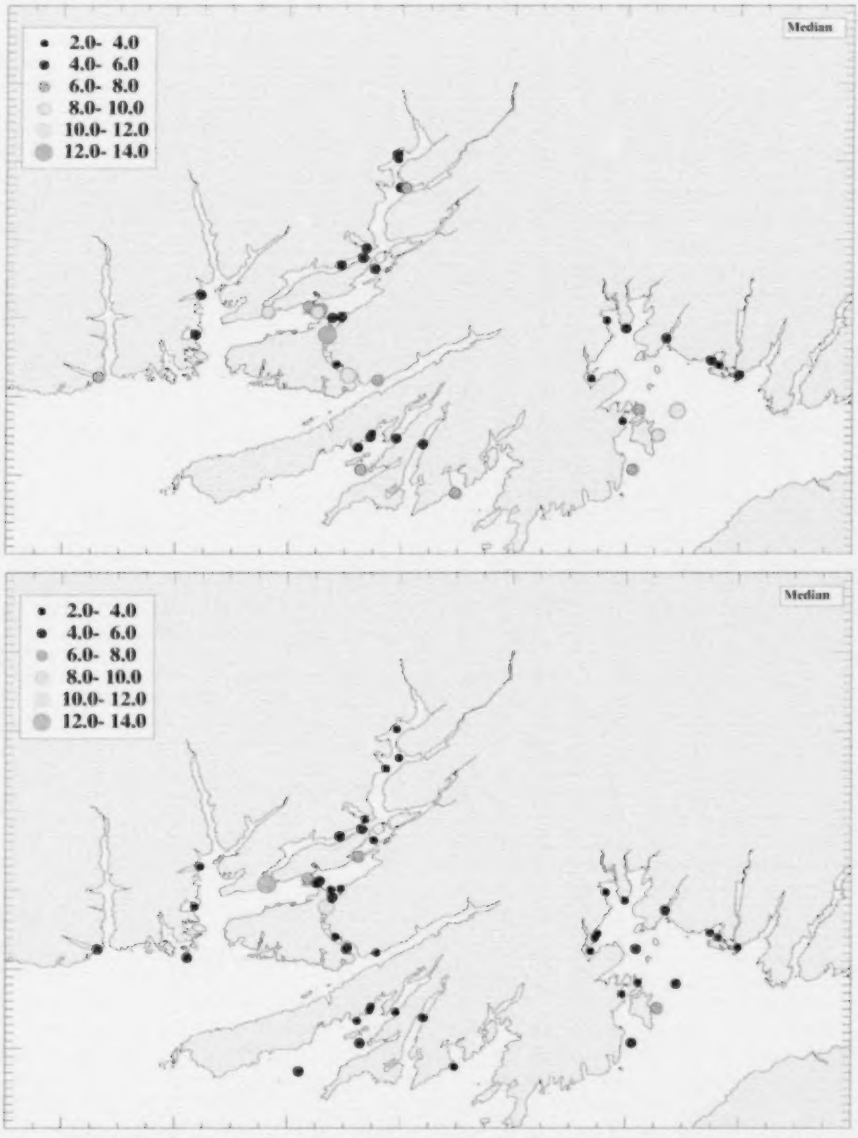

Figure 15. Vitesse médiane (en cm/s) dans la couche supérieure située de 0 m à 20 m de profondeur (carte du haut) et dans la couche inférieure située au-delà de 20 m de profondeur (carte du bas) dans la région de Coast of Bays.

Les statistiques de la vitesse du courant diffèrent entre les baies, mais également au sein d'une même baie. Dans 50 % des cas, la vitesse médiane du courant mesurée à une distance de moins de 1 km des sites aquacoles dans la région de Coast of Bays était entre 4 et 6 cm/s dans la couche supérieure (0 à 20 m de profondeur). Cela représente une distance de déplacement de particule dans l'eau de 1 km entre 5 à 7 h, en supposant que la direction du courant reste la même au cours de cette période.

L'analyse du niveau de la mer mesuré par les profileurs de courant à effet Doppler a révélé qu'en moyenne 84 % de la variance du niveau de la mer est attribuable aux marées. D'après les

observations réalisées, cette contribution est légèrement plus élevée dans Bay d'Espoir, suivie de la région de la péninsule de Connaigre, et est légèrement moins élevée dans Belle Bay. Toutefois, l'analyse a montré qu'une partie importante de la variabilité du courant marin n'est pas attribuable aux marées. Des différences en taux de contribution de la marée ont été relevées d'une baie à l'autre, en particulier : au fond de Bay d'Espoir, la contribution de la marée était plus élevée que dans les autres baies (25 % en général contre moins de 10 %). En outre, la couche supérieure présentait une contribution de marée moindre que la couche sous-jacente, ce qui indique que d'autres forces jouent un rôle important dans la circulation océanique superficielle dans la région.

L'élaboration d'un modèle de circulation pour la région de Coast of Bays et son application à la gestion des aires d'aquaculture

Dans le but d'étudier le transport des particules à destination et en provenance des sites aquacoles et d'estimer les zones d'influence liées aux activités d'aquaculture ainsi que la probabilité d'échange des eaux entre les régions, des études sur la circulation de l'eau ont été menées à l'aide d'observations et d'un modèle numérique. Les observations ont été réalisées au moyen de dériveurs de surface et de sous-surface, utilisés pour suivre le mouvement de la couche de surface, et de sondeurs de profils de courants (profileurs de courant à effet Doppler), utilisés pour mesurer les courants dans l'ensemble de la colonne d'eau. Pour le modèle numérique, un modèle d'océanographie côtière en volumes finis a été implémenté afin de simuler la circulation des eaux littorales dans la région.

Les zones d'influence ont été estimées comme étant la zone couverte par la trajectoire des particules ou des dériveurs largués dans les eaux calculée à partir des courants d'eau mesurés et modélisés. La probabilité d'échange des eaux entre les régions a été évaluée comme étant la combinaison de diverses zones d'influence qui se chevauchent.

Les expériences avec les dériveurs ont fournis des renseignements sur les courants de la couche de surface de 0 à 10 m de profondeur. Les expériences ont pris de 3 à 62 heures. Pour des raisons de sécurité, les expériences ont été limitées par l'état de la mer. Par conséquent, les expériences ont été menées dans des conditions de vents modérés. La distance parcourue par les dériveurs dépend de la région et des forçages qui généraient la circulation au cours de l'expérience. Cette distance varie de 0,7 à 52 km, avec une distance maximale de 47 km en une journée.

Le profileur de courant à effet Doppler a mesuré les courants océaniques à 5 m du fond marin jusqu'à 5 à 10 m sous la surface. Le profileur a mesuré les courants pendant une période d'un à six mois. Les distances médianes parcourues par les particules, calculées à partir des courants mesurés à une profondeur de 7,5 m, variaient d'environ 1 à 16 km pendant une période de 24 heures. Lorsque l'on envisage la distance maximale sur une période de 24 heures, la distance à laquelle une particule pourrait se déplacer augmente de 3,5 à 32 km. Pour ces calculs, on a supposé que les particules avaient une probabilité égale de se déplacer dans n'importer quelle direction autour de la position du profileur.

Le modèle de circulation comprenait des forçages de marées appliqués aux frontières en haute mer et d'un champ de vent temporellement constant et presque uniforme dans l'espace. Le champ de vent était caractérisé par de grands vents de 72 km/h et soufflant avec une direction changeante afin de considérer les effets d'entonnoir attribuables à la topographie accidentée de la région. De plus, une réduction de la vitesse des vents derrière les montagnes due à l'effet de barrière a aussi été considérée. Deux scénarios de simulation ont été examinés : un forçage par un vent du sud-ouest et un forçage par un vent du nord-est pour une journée. Le modèle a été

exécuté en mode barotrope, c'est-à-dire avec une température et une salinité uniformes dans l'ensemble de la zone.

Pour les processus de validation, on a comparé le niveau de la mer mesuré par le capteur de pression des profileurs de courant à effet Doppler et le niveau de la mer calculé par le modèle. L'élévation de la surface de la mer due à la marée a été bien reproduite par le modèle avec des erreurs de moins de 2 cm pour les composantes principales de marée. Étant donné que les marées expliquent en moyenne 84 % de la variation du niveau de la mer dans la région, le présent modèle peut être utilisé pour prévoir une grande partie de la variabilité de l'élévation de la surface de la mer. Il convient de noter, cependant, que les ondes de tempête peuvent parfois avoir un effet important sur la hauteur de la surface de la mer dans la région.

Les courants marins calculés par le modèle de circulation ont été utilisés comme forçage d'un modèle de suivi de particules qui a estimé le transport des particules émises entre une profondeur de 0 à 5 m dans divers emplacements de la zone d'étude. La Figure 16 illustre la distance entre le point d'émission et l'emplacement des particules après une simulation de 12 heures pour les deux scénarios de forçage par le vent. Il a été observé que la distance parcourue par les particules sous l'effet des courants calculés variait selon le point d'émission et la direction du vent de forçage. La distance maximale calculée était de 22 km en 24 heures.

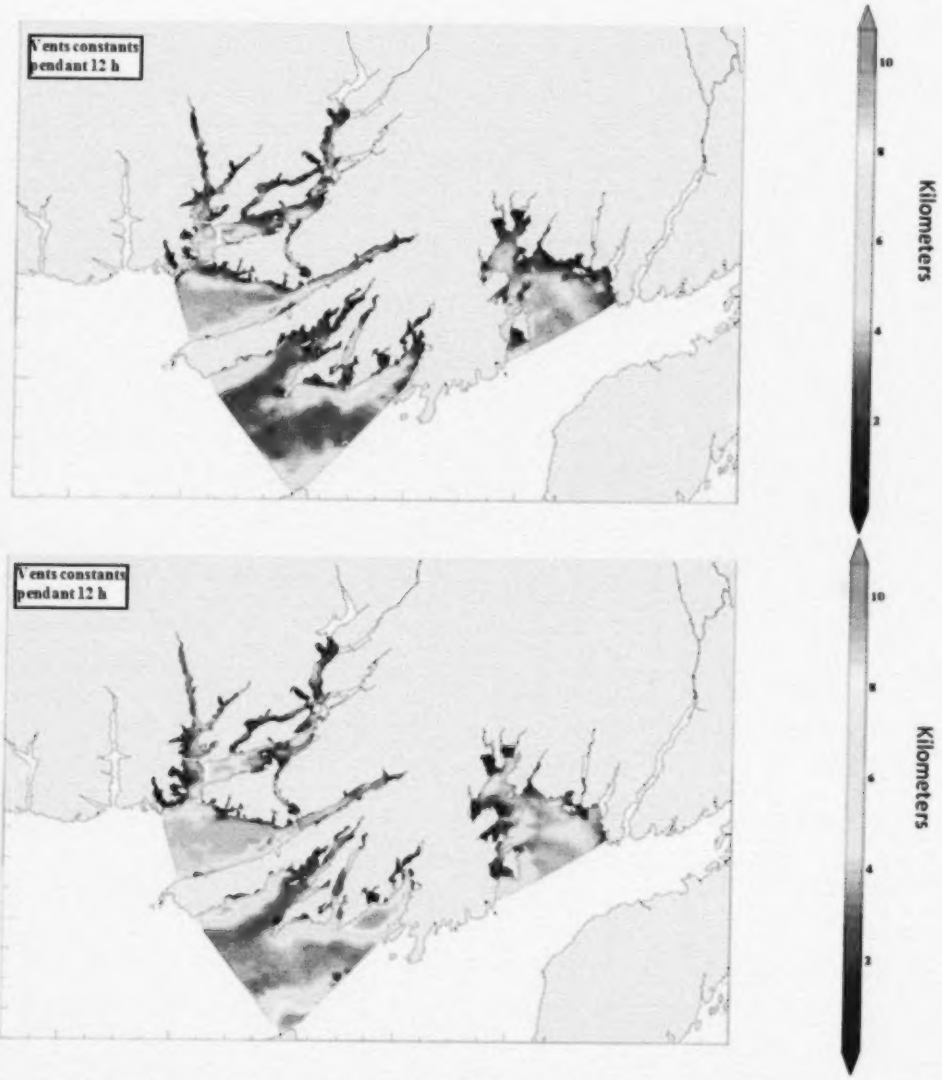

Figure 16. Distance (kilomètres) parcourue par les particules émises à partir de certains points dans la zone d'intérêt. Le graphique du haut montre le cas avec un forçage par du vent provenant du sud-ouest et celui du bas, un forçage par du vent provenant du nord-est. Les couleurs représentent la distance parcourue par les particules émises à ce point.

Sources d'incertitude

L'échantillonnage de relevés bathymétriques est insuffisant dans certaines régions de la zone d'étude (notamment dans Great Bay de l'Eau, une portion de Connaigre Bay et une portion de Belle Bay), ce qui donne des estimations plus approximatives.

Parmi les quatorze rivières principales identifiées dans la zone d'intérêt, seules les informations de débit fluvial de quatre rivières ont pu être utilisées à des fins d'une analyse régionale. Le débit fluvial des autres rivières a été estimé en utilisant ces données, ce qui pourrait avoir donné lieu à des sous-estimations compte tenu de l'augmentation du nord au sud du gradient

de précipitation dans la région, tel que décrit dans le *Water Resources Atlas of Newfoundland* (ministère de l'Environnement et des Terres de Terre-Neuve-et-Labrador 1992).

L'information sur la climatologie des vents a été calculée à partir des données d'une station météorologique permanente avec plus de 20 ans de données. La station est située au large des côtes sud de la péninsule de Connaigre, et la généralisation de l'analyse pour l'ensemble de la région laisse planer un doute. D'autres variables atmosphériques requises pour calculer les flux de chaleur n'étaient pas disponibles pour une analyse à long terme, mais celles-ci seront importantes pour évaluer le rôle que joue l'échange de chaleur entre l'océan et l'atmosphère dans la circulation marine de la région.

Les estimations du temps de vidange étaient uniquement fondées sur le volume des marées (prisme); par conséquent, le temps de vidange pourrait avoir été largement surestimé ou sous-estimé en raison de l'apport d'eau douce ou de l'effet du vent qui a précédemment été identifié comme un agent de forçage physique important dans la région (Ratsimandresy *et al.* 2012; De Young 1983, et Hay et De Young 1989).

La climatologie de la température a été calculée avec une quantité limitée d'informations pouvant donner lieu à de possibles biais saisonniers et spatiaux, en particulier pour les mois d'hiver. L'analyse pourrait être améliorée à l'aide des sources de données supplémentaires telles que, entre autres, la température de la surface de la mer obtenue par satellites ou autres techniques de télédétection.

En ce qui concerne la structure de la colonne d'eau, la limitation sur le nombre d'échantillonnages ne permet pas la distinction entre les processus temporaux et spatio-physiques, ce qui rend difficile l'explication des mécanismes ayant entraîné les variations à court terme de température, de salinité et d'oxygène dissous observées. L'ensemble de données est également trop court et limité du point de vue de la résolution temporelle (manque d'observations en été et en hiver) pour permettre une bonne compréhension des variations saisonnières et interannuelles.

En ce qui concerne les renseignements sur les courants océaniques, la généralisation des conditions annuelles devrait être faite avec circonspection étant donné que les mesures ont été effectuées pendant des périodes allant d'un à six mois, ces périodes couvrant rarement la saison d'hiver. De plus, les limites inhérentes du profileur de courant à fournir des informations de courants marins à la surface ont fait en sorte que ces informations ne sont disponibles que pour la sous-surface jusqu'à la profondeur du profileur. Nous nous attendons à ce que les courants proches de la surface (c.-à-d. de 0 à 5 m de profondeur) soient plus larges que ceux dans la sous-surface mais des méthodes de mesure différentes seront nécessaires pour recueillir les données de surface afin de confirmer cette hypothèse.

L'implémentation du modèle de circulation a été faite en diverses étapes en commençant par une structure simplifiée de la colonne d'eau et du champ de forçage. Les exercices de modélisation n'ont pas tenu compte des processus physiques tels que les variabilités saisonnières et spatiales de la température, de la salinité et celles des vents réalistes observées dans la région. Les débits fluviaux n'ont pas été pris en compte.

Au moment de définir les zones d'influence à l'aide des mesures des courants du profileur de courant à effet Doppler, des diagrammes de vecteurs progressifs ont été utilisés; ce qui supposerait que les courants étaient uniformes dans l'espace. On a également supposé que les particules émises à l'emplacement du profileur de courant avaient une probabilité égale de se déplacer dans n'importe quelle direction autour du profileur. Cela donne une approximation peu précise des véritables trajectoires des particules étant donné que les courants océaniques dans la région d'intérêt présentent des variations dans l'espace. La prise en compte de la direction

des courants permettra de produire des cartes de connectivité avec la possibilité d'effectuer des analyses de probabilités et de risques.

En ce qui concerne les zones d'influence définies à l'aide des résultats du modèle de circulation combiné au modèle de suivi des particules, les courants proches de la surface ont été calculés en mode barotrope. Dans ce mode, les courants sont indépendants des profondeurs et l'ensemble de la colonne d'eau a tendance à se déplacer à la même vitesse. Des champs de forçage par vents forts étaient nécessaires pour produire une circulation avec des courants de surface se déplaçant à la même vitesse que les courants observés. Les observations ont révélé d'importantes variations horizontales et verticales de la température et de la salinité, et de telles variations exigent que le modèle soit configuré en mode barocline. En mode barocline, les courants changent selon la profondeur et les zones d'influence liées à la circulation des eaux varient en conséquence.

CONCLUSIONS ET AVIS

Des données d'observation (tirées de diverses sources, y compris des profils de conductivité, de température et de profondeur, des profils de courants, des stations météorologiques et des des trajectoires de dériveurs) et les résultats d'un modèle de circulation ont été analysés afin de caractériser les conditions océanographiques de Coast of Bays, une région de la côte sud de l'île de Terre-Neuve. Les résultats montrent d'importantes variabilités spatiales (variant de centaines de mètres à l'échelle des baies) et temporelles (variant de jours à l'échelle saisonnière) dans l'océanographie de la zone ainsi que des variabilités des vents de surface (vitesse et direction). Diverses régions ont été identifiées d'après les propriétés qui les distinguent des zones environnantes. L'analyse de la couche de surface, là où ont lieu les activités aquacoles, et de la sous-surface jusqu'à la couche de fond met en évidence les différences et la variabilité des propriétés physiques. Les changements des propriétés physiques et dynamiques des eaux dans la zone d'étude sont le résultat d'une combinaison de divers facteurs de forçage, y compris les effets atmosphériques, l'action des marées, les débits fluviaux, les courants dus à la variation de densité et les caractéristiques bathymétriques de la région. Des recherches plus approfondies seront cependant nécessaires pour qualifier le rôle de chacun des facteurs de forçage. Quoi qu'il en soit, les études actuelles offrent les renseignements les plus à jour sur l'océanographie de la région de Coast of Bays depuis les années 1980. Ces renseignements comprennent les suivants :

- Une description détaillée de la bathymétrie
- Une analyse du débit fluvial à l'aide des données hydrologiques et topographiques les plus récentes
- Une mise à jour du régime des vents
- Une étude approfondie de l'élévation des marées et de la moyenne verticale des courants
- Une première estimation du temps de vidange de chacune des baies principales dans la zone d'étude selon la méthode relative au prisme de marée
- Une climatologie de la température dans les premiers 20 m de la colonne d'eau, y compris les premières estimations des taux de mélange vertical
- Une description de la structure verticale et de la structure horizontale de la colonne d'eau, y compris l'identification des variabilités interannuelles, saisonnières (printemps et automne) et des variabilités à court terme ainsi que la description des processus physiques associés
- Une analyse statistique des régimes des courants océaniques

- L'implémentation d'un modèle de circulation des eaux côtières permettant de simuler les courants produits par les marées et les vents dans des conditions d'une structure d'eau uniforme
- Une estimation des zones d'influence liées au déplacement des particules émises dans la couche de surface et une évaluation de la probabilité d'échange des eaux entre les baies

Du point de vue de la gestion des aires d'aquaculture, la région de Coast of Bays peut être divisée en plusieurs secteurs en fonction de différents critères :

1. La première division se fait selon les propriétés de la zone géographique, soit la présence de bassins et de seuils (Figure 17). Les seuils réduisent l'échange d'eaux profondes d'une région à l'autre, ce qui limite par exemple le renouvellement des eaux profondes et le déplacement possible des déchets aquacoles qui atteignent les couches profondes.

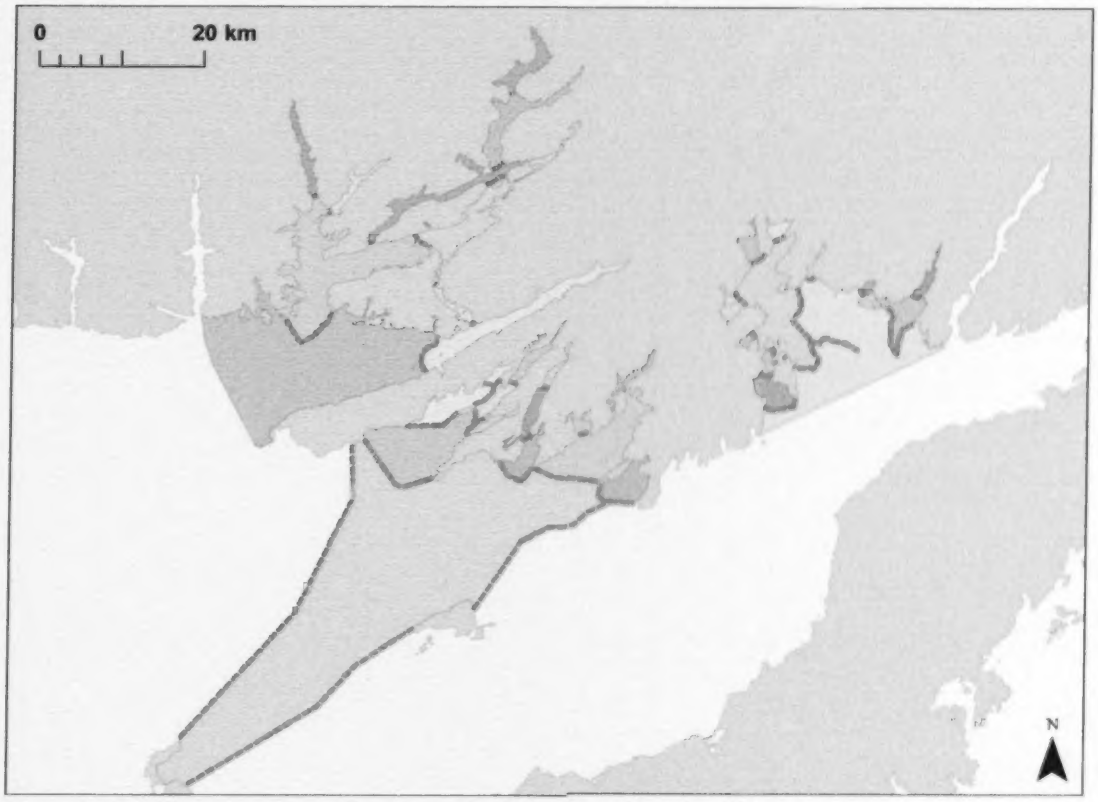

Figure 17. Bassins (vert) et seuils (lignes rouges) dans la région de Coast of Bays. Les nuances de vert servent uniquement à représenter les différents bassins.

2. La division peut aussi se faire en zones hydrographiques caractérisées par la température, la salinité, l'oxygène dissous, et le mélange des eaux (Figure 18).

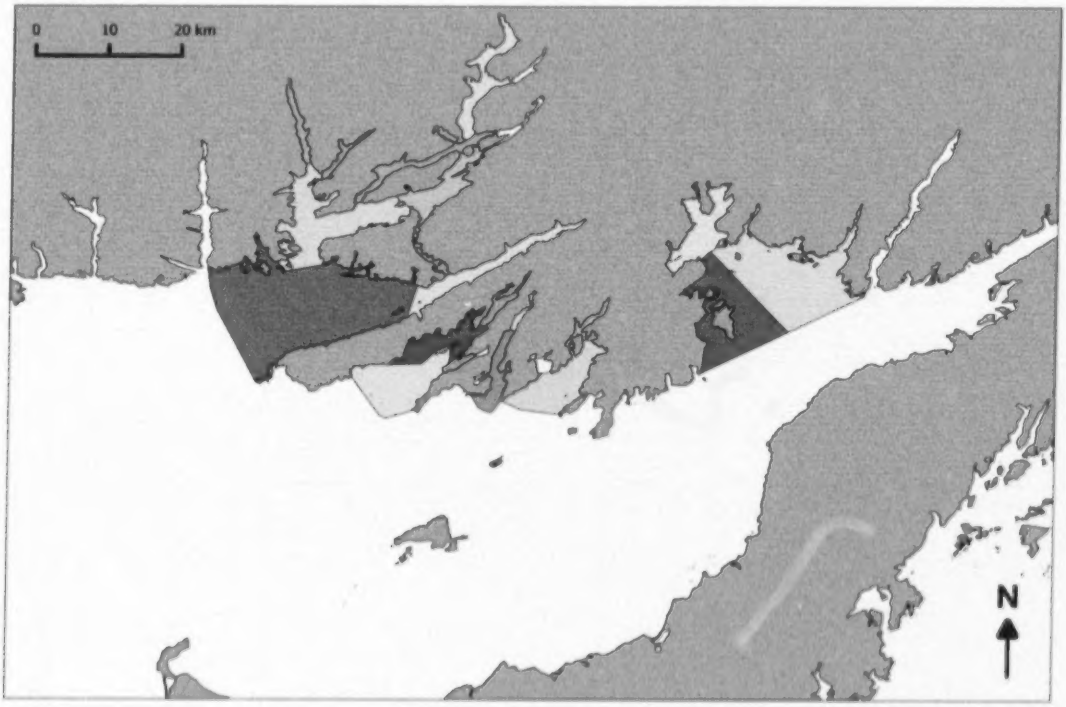

Figure 18. Carte des zones hydrographiques de la région de Coast of Bays ayant des critères océanographiques distincts. À chaque couleur correspond une zone hydrographique.

3. Enfin, la division peut être faite en fonction de la probabilité d'échange des eaux, laquelle est obtenue en étudiant la dispersion des particules émises à la surface de l'eau (Figure 19). Différentes zones d'influence se chevauchant ont été combinées et utilisées pour évaluer le potentiel d'échange des eaux entre les régions.

Figure 19. Zones de la région de Coast of Bays présentant un potentiel d'échange des eaux. Chaque couleur représente une région.

AUTRES CONSIDÉRATIONS

La délimitation des aires d'aquaculture nécessite l'accès à des données de nombreuses sources (comme les organismes de réglementation, l'industrie, etc.). Le contenu du présent document n'est qu'une partie parmi les nombreuses contributions dont il faudra faire la synthèse pour le développement de la gestion des aires d'aquaculture.

SOURCES DE RENSEIGNEMENTS

Le présent avis scientifique découle de l'examen régional par des pairs du 25 au 26 mars 2015 sur l'État des connaissances sur l'océanographie et l'échange des eaux sur la côte sud de Terre-Neuve à l'appui de l'établissement de zones gestion des baies pour l'aquaculture de poissons. Toute autre publication découlant de cette réunion sera publiée, lorsqu'elle sera disponible, sur le calendrier des avis scientifiques de Pêches et Océans Canada.

Akenhead, S.A. 1987. Temperature and Salinity off Newfoundland: Station 27 Annual Cycle and Residuals. NAFO SCR Doc 87/66.

BDE DA (Bay d'Espoir Development Association). 1984. Salmonid Aquaculture in Bay d'Espoir – a Development Plan. Vol. 3: 133 p.

Brewer-Dalton, K. (éd.), Page, F.H., Chandler, P., Ratsimandresey, A. 2015. Oceanographic conditions of salmon farming areas with attention to those factors that may influence the biology and ecology of sea lice, Lepeophtherius salmonis and Caligus spp., and their control. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2014/048. vi + 47 p.

Burt, K., Hamoutene, D. Mabrouk, G. Lang, C., Puestow, T., Drover, D., Losier, R., Page, F. 2012. Environmental Conditions and Occurrence of Hypoxia within Production Cages of Atlantic Salmon on the South Coast of Newfoundland. Aquaculture Research. 43: 607-620.

Chang, B.D., Page, F.H., Losier, R.J., Lawton, P., Singh, R., Greenberg, D.A. 2007. Evaluation of Bay Management Area Scenarios for the Southwestern New Brunswick Salmon Aquaculture Industry. Aquaculture Collaborative Research and Development Program Final Project Report. Can Tech Rep Fish Aquat. Sci. 2722: 1-69.

Clément. 2013. Ecosystem approach and interactions of aquaculture activities in southern Chile. In L.G. Ross, T.C. Telfer, L. Falconer, D. Soto & J. Aguilar-Manjarrez, eds. Site selection and carrying capacities for inland and coastal aquaculture, pp. 271–278. FAO/Institute of Aquaculture, University of Stirling, Expert Workshop, 6–8 December 2010. Stirling, the United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland. FAO Fisheries and Aquaculture Proceedings No. 21. Rome, FAO. 282 pp.

CoGP (Code of Good Practice) Management Group. 2015. A Code of Good Practice for Scottish Finfish Aquaculture. (Consulté le 30 avril 2015).

Craig, J.D.C., Colbourne, E.B. 2004. Temperature Variability in the Coastal Waters of Eastern Newfoundland. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2004/004.

Currie, J.J., Goulet, P., Ratsimandresey, A.W. 2013. Wind Conditions in a Fjord-like Bay and Predictions of Wind Speed Using Neighboring Stations Employing Neural Network Models. J. Appl. Meteor. Climatol. 53: 1525-1537.

DFA (Ministère des Pêches et de l'Aquaculture de Terre-Neuve-et-Labrador). 2014. Newfoundland and Labrador Sustainable Aquaculture Strategy 2014. (Consulté le 2 mars 2015).

De Young, B. 1983. Deep Water Exchange in Fortune Bay, Newfoundland. Thesis (M.Sc.) Memorial University of Newfoundland.

Ministère de l'Environnement et des Terres de Terre-Neuve-et-Labrador. 1992. Water Resources Atlas of Newfoundland. Water Resources Division.

Gregory, D., Petrie, B., Jordan, F., Langille, P. 1993. Oceanographic, geographic and hydrological parameters of Scotia-Fundy and southern Gulf of St. Lawrence inlets. Can. Tech. Rep. Hydrog. Ocean Sci. No. 143: viii + 248 pp.

Hay, A.E., De Young, B. 1989. An Oceanographic Flip-Flop: Deep Water Exchange in Fortune Bay, Newfoundland. Journal of Geophysical Research, 94: 843-853.

Jackson, D. 2011. Ireland: The Development of Sea Lice Management Methods. In Salmon Lice: an Integrated Approach to Understanding Parasite Abundance And Distribution. Edited by Jones S, Beamish R. Wiley-Blackwell. Oxford. pp. 177-204.

MSRL (Marine Science Research Laboratory). 1980. Bay d'Espoir Aquaculture Feasibility Study. Coastal and Estuarine Pen Rearing Sites. Vol. II, Section 10: 1-37 p.

Ratsimandresey, A.W., Page, F., Mabrouk, G., Losier, R., Drover, D., Ings, D., McCurdy, P. 2012. Aquaculture Drifter Programme: Progress Update 2010. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2011/127. vi + 41 p.

Richard J.M., Hay A.E. 1984. The physical oceanography of Bay d'Espoir, Newfoundland. Institute of Cold Ocean Sciences. Memorial University of Newfoundland. 30 p.

Simpson J.H., Sharple, J. 2012. Introduction to the Physical and Biological Oceanography of Shelf Seas. Cambridge University Press. 424 p.

Yurick, D.B., Vanstone, M.C. 1983. A Biological and Oceanographic Study of the Bay d'Espoir Region, Newfoundland. Vol. 1. Final Report to Parks Canada, Department of the Environment, Ottawa. Parks Canada Ref. No. C1632/82-54.

CE RAPPORT EST DISPONIBLE AUPRÈS DU :

Centre des avis scientifiques (CAS)
Région de Terre-Neuve-et-Labrador
Pêches et Océans Canada
C.P. 5667
St. John's (Terre-Neuve-et-Labrador) A1C 5X1

Téléphone : 709-772-8892
Courriel : DFONLCentreforScienceAdvice@dfo-mpo.gc.ca
Adresse Internet : www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/

ISSN 1919-5117
© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, 2016

La présente publication doit être citée comme suit :

MPO. 2016. État des connaissances sur l'océanographie et l'échange des eaux de la côte sud de Terre-Neuve à l'appui de l'établissement de gestion des aires d'aquaculture. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2016/039.

Also available in English:

DFO. 2016. State of Knowledge of the Oceanography and Water Exchange on the South Coast of Newfoundland to Support the Development of Bay Management Areas for Finfish Aquaculture. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Sci. Advis. Rep. 2016/039.